

COMUNE DI ORIGGIO
PROVINCIA DI VARESE

committente:

SUPERCOLORI S.p.A.

oggetto:

PROPOSTA DI RIDELIMITAZIONE DELLA
FATTIBILITÀ DELL'ASTA DEL TORRENTE
BOZZENTE NEL TRATTO DI PROPRIETÀ

studio idraulico

febbraio 2012

RELAZIONE IDRAULICA

I PROFESSIONISTI
dott. ing. Giorgio Amolari

dott. geol. Aldo Sbrana

dott. ing. GIORGIO AMOLARI
STUDIO INGEGNERIA IDRAULICA-AMBIENTALE

dott. geol. ALDO SBRANA
STUDIO TECNICO AMBIENTALE

Piazza Moraglia, 2 – 21040 GORNATE OLONA (VA)
tel/fax 0331/820920
e-mail: ing.amolari@libero.it
domicilio fiscale: via nobili Martignoni, 1 – 21043 CASTIGLIONE OLONA (VA)

Piazza Napoli, 24 – 20146 MILANO
tel 02/49537951/2 – fax 02/49537950
e-mail: aldosbrana@gmail.com

| | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|--------|-------|---|--|--|--|
| Dis. n. 64127/R | Data FEBB. 2012 | modif. | copie | 6 | | | |
|-----------------|-----------------|--------|-------|---|--|--|--|

INDICE

| | | |
|---|--|-----------|
| 1 | Premessa | 2 |
| 2 | Caratterizzazione del bacino e definizione delle portate di riferimento | 2 |
| 2.1 | Introduzione..... | 2 |
| 2.2 | Limiti del bacino naturale..... | 3 |
| 2.3 | Contributi esterni prodotti da reti di scarico urbano | 4 |
| 2.4 | Assetto idraulico generale, ricostruito dall'esame degli studi pregressi..... | 4 |
| 2.5 | Portate di piena..... | 5 |
| 2.6 | Interventi di regimazione e riqualificazione programmati..... | 6 |
| 2.7 | Portata da assumere nei calcoli | 7 |
| 3 | Determinazione delle condizioni di moto..... | 8 |
| 3.1 | Introduzione..... | 8 |
| 3.2 | Determinazione della condizione al contorno di valle | 8 |
| 3.3 | Caratterizzazione geometrica dell'alveo | 9 |
| 3.4 | Calcolo delle condizioni di moto..... | 10 |
| 4 | Definizione delle condizioni di rischio, con riferimento al tratto di proprietà | 14 |
| 5 | Conclusioni dello studio | 16 |
| APPENDICE: MODALITÀ DI REDAZIONE DEI CALCOLI IDRAULICI | | 18 |
| 1 | Principi teorici per la trattazione delle correnti a pelo libero..... | 18 |
| 2 | Calcolo delle condizioni di moto per alvei cilindrici | 19 |
| Bibliografia) | | 22 |

1 Premessa

Il presente studio è stato condotto con lo scopo di definire l'assetto idraulico di dettaglio di un tratto del corso del torrente Bozzente sito a cavallo dei territori dei comuni di Origgio, di Lainate e di Nerviano, a valle dell'attraversamento dell'autostrada A8 Milano – Varese, e più precisamente allo scopo di accertare le condizioni di rischio idraulico proprie delle aree site in fregio al corso del torrente Bozzente, in comune di Origgio, di proprietà della Supercolori S.p.A. di Nerviano.

Esso viene redatto a supporto delle considerazioni a suo tempo già avanzate da parte della proprietà ai competenti Uffici Comunali, in merito alla possibilità di rivedere la classe di fattibilità geologica inizialmente assegnata alle aree sopra indicate, in sede di redazione dello studio geologico a supporto della redazione dello strumento di pianificazione urbanistica comunale.

Lo studio si articola nelle seguenti fasi:

- delimitazione dei limiti geografici e delle principali caratteristiche morfologiche del bacino idrografico del torrente in base all'andamento orografico ed alla disposizione planimetrica dei punti di scarico di reti fognarie "bianche" o "miste" attivi in tempo di pioggia;
- determinazione della portata di piena, mediante analisi degli studi allo scopo condotti dagli Enti preposti (Regione Lombardia, Autorità di Bacino del fiume Po), assumendo, per analogia, il medesimo tempo di ritorno indicato dall'Autorità di Bacino per le verifiche idrauliche sul fiume Olona, recapito del Bozzente (100 anni);
- costruzione di un modello del corso del torrente mediante il tracciamento di alcune sezioni e taratura dello stesso in base ad eventi meteorici conosciuti;
- determinazione delle condizioni di moto, tramite individuazione del livello idrico raggiunto nella sezione di valle e calcolo a ritroso dei livelli idrici raggiunti nelle successive sezioni di monte.

La presente Relazione Illustrativa è corredata da una Appendice Idraulica, per l'approfondimento dei concetti e dei modelli di calcolo utilizzati per la determinazione dei livelli di piena in alveo.

2 Caratterizzazione del bacino e definizione delle portate di riferimento

2.1 Introduzione

Il torrente Bozzente nasce dalla confluenza fra i torrenti Vaiadiga ed Antiga, in comune di Mozzate (frazione S.Maria Solaro, poco a Nord dell'attraversamento in sottopasso della linea ferroviaria F.N.M. Varese – Saronno – Milano). A partire da questa sezione, si sviluppa in un territorio densamente popolato, frutto di una intensa modellazione antropica e sostanzialmente privo di rilievi.

A motivo di questo, la delimitazione dei confini del bacino di pertinenza del torrente risulta necessariamente approssimativa, in quanto fortemente condizionata sia dalle successive opere di ingegneria idraulica disposte lungo l'alveo, sia gli scarichi antropici (sovente disposti a valle di reti di drenaggio urbano i cui bacini scolanti non corrispondono, se non lontanamente, alla originaria orografia di superficie).

2.2 Limiti del bacino naturale

L'attuale corso del torrente Bozzente, a valle dell'attraversamento di Mozzate, è frutto di importanti interventi disposti a partire dal secolo XVII, come riferito nel testo "Storia dei tre torrenti Bozzente – Gradaluso – Fontanile dall'anno 1500 fino all'epoca della loro separazione del 1762 ai giorni nostri – 1986", a cura di Peppino Donzelli. Anticamente, il torrente scorreva più ad Est, presso il centro storico di Cislago. Esigenze di protezione idraulica dei centri abitati portarono, a partire dall'anno 1604, alla deviazione del corso d'acqua verso l'alveo attuale, con la formazione del "cavo Borromeo", a valle della chiusa di San Martino. In seguito, l'intervento più consistente fu l'attuazione del cosiddetto "piano di separazione", con il quale, a seguito di una piena del 1756, si provvide a separare fisicamente il bacino del Bozzente da quelli dei torrenti Gradaluso e Fontanile di Tradate, inizialmente suoi affluenti di destra. Risalgono al 1762 le opere idrauliche concepite per consentire lo spagliamento del Gradaluso e del Fontanile più ad Ovest, in direzione delle aree boschive a nord Est di Gorla Minore. Quale ulteriore protezione degli insediamenti disposti più a valle, fino a Rho, si provvide alla deviazione dei volumi di piena del Bozzente, tramite realizzazione di un canale scolmatore (roggia Maestra) con recapito nei boschi compresi fra Cislago (località cascina Massina) e Gerenzano, ed alla creazione di una nuova area di spagliamento nella zona dei cosiddetti "boschi di Uboldo", fra Uboldo e Cerro Maggiore.

Il bacino naturale risultante dall'insieme degli interventi descritti viene sommariamente descritto nei grafici allegati (Corografia Generale, scala 1:25.000). Esso presenta una forma molto allungata lungo un asse Nord – Sud, con frequenti tratti "pensili", frutto dei successivi spostamenti dell'alveo.

Ai fini descrittivi, il bacino viene suddiviso nei sottobacini che seguono:

- tratto di monte (sottobacino "A"), comprendente i bacini idrografici dei torrenti Vaiadiga (ad Ovest) ed Antiga (ad Est), nei quali i limiti di bacino sono nettamente definiti dagli spartiacque geografici;
- tratto pedemontano (sottobacino "B"), caratterizzato da un alveo ancora sensibilmente inciso, corrispondente al risultato degli interventi del XVII e XVIII secolo; il bacino di pertinenza del sottobacino "B" include anche il territorio scolante verso il torrente Gradaluso (e verso il fosso Gradaluso, sua prosecuzione nel tratto di pianura), evidenziato nella planimetria di tav. n. 1 con segno grafico differente per rammentare che, a seguito dei lavori del "piano di separazione" del secolo XVIII, i contributi di piena qui prodotti non concorrono al colmo di piena lungo l'asta del Bozzente;
- tratto intermedio (sottobacino "C"), caratterizzato da un alveo molto meno inciso, con frequenti aree di esondazione;
- tratto terminale (sottobacino "D"), individuato, ai fini del presente studio, fra i limiti del territorio comunale di Origgio (a Nord) ed il canale Villoresi (a Sud), circa 2,5 km a monte della confluenza del Bozzente nell'Olonza; questo tratto, come in parte il precedente, appare spesso caratterizzato da un alveo "pensile", frutto degli spostamenti del passato, che hanno condotto il letto del torrente a trovarsi, almeno da un lato, a quote superiori a quelle del piano campagna circostante: si tratta di condizioni da analizzare con estrema attenzione, in quanto, in caso di esondazione, danno luogo ad allagamenti che, anziché rifluire in alveo a piena conclusa, tendono ad allontanarsi da questo, divagando per le campagne circostanti, guidati unicamente dall'orografia di superficie.

2.3 Contributi esterni prodotti da reti di scarico urbano

Come anticipato, i sottobacini individuati descrivono unicamente i confini naturali del bacino di pertinenza del torrente Bozzente. L'analisi di dettaglio del comportamento idraulico del bacino in caso di piena deve tenere conto non solo dei contributi prodotti entro tali limiti naturali, ma anche dei contributi prodotti all'esterno di tali limiti, e veicolati in alveo tramite le reti di scolo artificiali.

Lo studio di dettaglio di tali contributi, svolto sulla scorta delle indicazioni fornite dalla società Bozzente S.r.l., ha portato alla definizione dell'elenco che segue (da Nord verso Sud):

- collettori comunali di Locate Varesino, Carbonate e Mozzate – Mozzate, via Cornaggia Medici (1);
- collettore a servizio della zona industriale di Mozzate – Mozzate, via al Corbè (2);
- collettore comunale di via Cavour a Cislago – Cislago, ponte SP. n. 21 (3);
- condotta di sfioro della fognatura comunale di Cislago in località S. Maria Iniziata a Cislago – Cislago, area boschiva ad Ovest della frazione di S. Maria Iniziata (4);
- condotta di sfioro della fognatura comunale di Cislago in località cascina Massina a Cislago – area boschiva ad Ovest della frazione Massina (5);
- drenaggio prima falda attorno alla ex discarica AMSA – Gerenzano (6);
- collettore comunale di Rescaldina – Rescaldina, ponte SP. ex SS. n. 527 (7);
- scarico dall'impianto di depurazione comunale di Origgio – Origgio, viale Europa (8).

I numeri riportati fra parentesi corrispondono al codice numerico adottato per identificare gli scarichi elencati nella planimetria di tav. n. 1.

2.4 Assetto idraulico generale, ricostruito dall'esame degli studi pregressi

Il bacino del torrente Bozzente è stato oggetto di diversi studi di dettaglio, succedutisi in rapida successione a brevi periodi di distanza l'uno dall'altro.

Il tema fu affrontato dall'ing. Enzo Piccoli della società C.S.P. S.p.A. (Centro Studi Progetti) nel 1997, su incarico conferito dalla Regione Lombardia e finalizzato alla progettazione delle opere idrauliche di sistemazione del corso d'acqua ("Studio idrologico-idraulico, progettazione preliminare ed esecutiva per la sistemazione del Torrente Bozzente").

L'anno successivo, il corso d'acqua venne nuovamente analizzato da parte di un gruppo di idrologi dell'Università di Pavia, coordinati dal prof. ing. Ugo Moisello, ed incaricati da parte della Provincia di Varese della redazione della parte di Piano Provinciale di Protezione Civile relativa al rischio idraulico e rischio dighe.

Fu poi la volta dell'Autorità di bacino del fiume Po, che diede incarico alla società di ingegneria C. Lotti & associati S.p.A., di Roma di redigere uno studio monografico del torrente Bozzente, nel quadro del più generale "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona". Lo studio (giugno 2003) venne coordinato dall'ing. Giorgio Visentini.

Da ultimo, si interessò del torrente la società Infosafe S.r.l., incaricata della redazione del "piano comunale di Protezione Civile" del Comune di Cislago (nel gennaio 2004).

Gli studi consultati concordano nel suddividere il bacino due parti, di caratteristiche affatto differenti. Il limite fra le due parti può essere grossolanamente individuato in corrispondenza

dell'attraversamento in sottopasso della SP. n. 21, in territorio comunale di Cislago.

La parte a Nord di tale limite appare caratterizzata da sostanziale sufficienza del letto del torrente, con esondazioni localizzate e sporadiche. La sola criticità degna di nota è costituita dalla sezione in corrispondenza dell'attraversamento di via Cornaggia Medici, a Mozzate, ove un'opera di regimazione in calcestruzzo diminuisce la profondità dell'alveo, e con essa la sezione libera di deflusso, favorendo l'esondazione delle acque di piena verso l'antico corso del Bozzente, in direzione del centro abitato di Cislago.

Nella porzione di bacino situata a Sud dell'attraversamento indicato, le insufficienze dell'alveo appaiono molto più frequenti. Procedendo verso Sud, la prima golena allagabile corrisponde all'area boschiva fra Cislago e Gerenzano, in sponda sinistra. Si tratta di una esondazione dovuta al superamento degli argini appena a valle del sottopasso della SP. N. 21, cui fa seguito la riattivazione di ciò che resta del tracciato della antica "roggia Maestra" ed il successivo spagliamento nei boschi fra cascina Massina (Cislago) e Gerenzano. Poco più a valle, si hanno allagamenti in corrispondenza del ponte della linea F.N.M. Saronno – Busto Arsizio, e nella zona dei "boschi di Uboldo" – storicamente dedicata alla esondazione controllata delle onde di piena del Bozzente. Ancora più a Sud, gli allagamenti sono provocati dalla insufficienza della sezione di diversi manufatti situati nei territori comunali di Lainate e Nerviano (nel dettaglio, il ponte stradale fra Lainate a Villanuova di Nerviano, il sifone di attraversamento del canale Villoresi, i sottopassi stradali in località località Grancia – Pagliera e Barbaiana, sempre a Lainate, e l'intero tratto di attraversamento del centro abitato di Rho, a partire dalla frazione Biringhello, ove è situata l'opera di presa di un manufatto di scarico delle piene, sino alla confluenza nel fiume Olona.

2.5 Portate di piena

Nel tratto a Nord, l'assenza di significativi episodi di esondazione fa sì che questa parte di bacino sia caratterizzata da una capacità di laminazione relativamente ridotta. In tali condizioni, la portata di piena viene calcolata semplicemente come somma dei singoli contributi di piena prodotti dai vari sottobacini (naturali o antropici) sottesi dall'asta torrentizia.

Più a Sud, la presenza di vaste aree allagabili rende molto più complesso il procedimento necessario alla stima delle portate di piena, che deve tenere conto dei volumi di piena persi per esondazione e dei ritardi a ciò connessi nella traslazione delle onde di piena.

Il calcolo di dettaglio venne sviluppato dal gruppo di lavoro coordinato dall'ing. Visentini (Lotti & associati S.p.A.) nel quadro della redazione dello studio monografico commissionato dall'Autorità di Bacino.

Gli apporti di piena, commisurati ad eventi ricorrenti con tempo di ritorno pari a 100 anni, vennero ivi stimati come segue:

- apporti distribuiti, dai bacini naturali:
 - sottobacino "A": 35,40 m³/s;
 - sottobacino "B": 5,60 m³/s;
 - sottobacino "C": 1,90 m³/s;
 - sottobacino "D": 10,50 m³/s;
- apporti concentrati, da reti di drenaggio urbano
 - scarichi di via Cornaggia Medici a Mozzate: 6,00 m³/s;
 - scarico di via al Corbè a Mozzate –: 1,35 m³/s;

- scarico al ponte della SP n. 21 di Cislago: accorpato allo scarico di Mozzate – via al Corbè;
- scarico di Cislago – frazione S. Maria Iniziata: 2,60 m³/s;
- scarico di Cislago – frazione Massina: 8,90 m³/s;
- scarico di Gerenzano (drenaggio prima falda dall'area ex AMSA): accorpato allo scarico del collettore comunale di Rescaldina;
- scarico del collettore comunale di Rescaldina: 1,50 m³/s;
- scarico dell'impianto di depurazione comunale di Origgio: 8,70 m³/s.

I valori di portata attesi nelle varie sezioni successive dell'asta del torrente Bozzente vengono riassunti nella tabella che segue. In essa, i contributi corrispondenti a riduzioni di portata conseguenti alla presenza di aree di laminazione, esondazione e/o spagliamento al suolo vengono introdotte con segno negativo ed identificate come “perdite”.

| punto di scarico | contributo [m ³ /s] | portata totale in alveo [m ³ /s] |
|--|-----------------------------------|---|
| sottobacino “A” | 35,40 | 35,40 |
| scarico n. 1, in comune di Mozzate | 6,00 | 41,40 |
| scarichi n. 2 e 3, accorpati graficamente allo scarico n. 2, in comune di Mozzate | 1,35 | 42,75 |
| sottobacino “B” | 5,60 | 48,35 |
| scarico n. 4, in comune di Cislago | 2,60 | 50,95 |
| Scarico n. 5, in comune di Cislago | 8,90 | 59,85 |
| perdite nei boschi di Gerenzano | -17,55 | 42,30 |
| sottobacino “C” | 1,90 | 44,20 |
| scarichi n. 6 e 7, accorpati graficamente allo scarico n. 7, in comune di Rescaldina | 1,50 | 45,70 |
| sottobacino “D” | 10,50 | 56,20 |
| perdite fra i boschi di Uboldo ed il sottopasso autostradale | -35,90 | 20,30 |
| scarico n. 8, in comune di Origgio | 8,70 | 29,00 |

Tabella 1: contributi di portata attesi nel corso della piena ricorrente con tempo di ritorno 100 anni lungo l'asta del torrente Bozzente

2.6 Interventi di regimazione e riqualificazione programmati

Alla intensa attività di analisi riferita nei paragrafi precedenti fece seguito una altrettanto intensa attività di programmazione di opere finalizzate alla migliore soddisfazione della domanda di sicurezza idraulica distribuita nei territori limitrofi all'asta del torrente.

La società Bozzente S.r.l., deputata alla gestione degli scarichi raccolti nelle reti fognarie comunali gravanti sull'asta del torrente, per le provincie di Varese e di Como, avviò, nel 2005, l'iter finalizzato alla razionalizzazione degli scarichi di sfioro esistenti nell'ambito territoriale di propria competenza, grossolanamente corrispondente ai sottobacini “B” e “C”. Fra queste, le più rilevanti,

ai fini della determinazione delle portate di piena adottate al Bozzente, riguardano la sistemazione degli scarichi dei collettori comunali di Locate Varesino, Carbonate e Mozzate presso il ponte di via Cornaggia Medici, in Mozzate, e la loro riunificazione in un unico manufatto, destinato ad alimentare una vasca volano della capacità di circa 67.000 m³.

Gli interventi recenti disposti nel bacino del Bozzente da parte della Regione Lombardia comprendono opere di ripristino e potenziamento delle aree di spagliamento del Fontanile di Tradate e del torrente Gradaluso (progetto generale delle opere idrauliche per il controllo delle piene dei corsi d'acqua Fontanile di Tradate e Gradaluso e per la bonifica delle aree di spagliamento circostanti alle discariche controllate di R.S.U. site in Boschi Ramascioni, Vigna Nuova e F.lli Milanese, redatto dal dott. ing. Matteo Bosi e dal dott. geol. Maurizio Serra) ed opere di contenimento delle piene (progetto per la sistemazione del torrente Bozzente, a cura di C.S.P. S.p.A.).

Nel dettaglio, il primo progetto enunciato prevedeva la risagomatura dell'alveo e degli argini del torrente Gradaluso, nel suo tratto terminale, e il ripristino e potenziamento delle opere già realizzate nel corso degli interventi del 1762, con formazione di nuovi pozzi disperdenti e realizzazione di una nuova vasca di laminazione, opportunamente collegata all'alveo ed all'area di spagliamento per mezzo di un sistema di soglie e di manufatti di regolazione.

Il secondo progetto individuava come prioritari gli interventi di protezione dei centri abitati nella parte meridionale del bacino (Nerviano, Rho), e prevedeva la realizzazione di un grande bacino di laminazione in territorio comunale di Nerviano, a valle dei sifoni di attraversamento del canale Villorresi.

I lavori successivamente programmati dall'Autorità di Bacino, nel più generale quadro della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona (C. Lotti & Associati, 2003) si inserivano nel solco tracciato da quest'ultimo lavoro, prevedendo:

- una nuova vasca di laminazione in comune di Gerenzano, all'interno della cava Fusi;
- l'adeguamento del sifone di sottopasso del canale Villorresi;
- l'adeguamento dello scarico di Lainate, con riduzione delle portate di colmo avviate in alveo durante le piene.

Caratteristica generale di tutti gli interventi qui descritti è quella di privilegiare il consolidamento dell'assetto idraulico esistente, con tutto il suo corollario di aree di esondazione e spagliamento, piuttosto che l'integrale contenimento delle piene in alveo. Il completamento delle opere già programmate, quindi, non si tradurrà in un aumento delle portate adottate verso valle, quanto piuttosto in un miglioramento delle condizioni di sicurezza entro cui già oggi avvengono i diffusi episodi di esondazione, laminazione e divagazione delle onde di piena, facendo sì che tali episodi si perpetuino secondo modalità soggette a maggior controllo.

In ragione di questo, appare quindi corretto assumere, anche per valutazioni a medio – lungo termine, le portate massime stimate all'attualità, nelle varie sezioni dell'asta torrentizia.

2.7 Portata da assumere nei calcoli

L'oggetto del presente studio idraulico è la verifica delle condizioni di scorrimento della portata attesa con tempo di ritorno pari a 100 anni in corrispondenza della proprietà della Supercolori S.p.A., in Comune di Origgio.

Con riferimento alla partizione del bacino riportata in tavola n. 1, ci troviamo in prossimità del

limite Sud del bacino esaminato, all'interno del sottobacino "D".

Alla luce delle considerazioni svolte, la portata assunta per la verifica idraulica è quindi pari a 29,00 m³/s.

3 Determinazione delle condizioni di moto

3.1 Introduzione

Il calcolo dei livelli di piena conseguenti al passaggio delle portate calcolate nei paragrafi precedenti viene operato con riferimento alle teorie che illustrano il moto a pelo libero, secondo quanto descritto con maggiore precisione nella allegata Appendice Idraulica.

Ad essa si rimanda anche per l'illustrazione di dettaglio dei risultati delle elaborazioni eseguite.

3.2 Determinazione della condizione al contorno di valle

Si è già indicato, nei documenti allegati, come, in favore di sicurezza, il calcolo procederà ordinatamente da valle verso monte, nell'ipotesi che le condizioni di moto corrispondano costantemente a quelle di una corrente "lenta".

In linea generale, ciò comporta la necessità di imporre, nella sezione di valle, condizioni di moto scelte secondo modalità estranee al processo di calcolo dei livelli di corrente, e note a priori.

Il caso più semplice corrisponde all'esistenza, a valle del tratto di alveo in esame, di un bacino di caratteristiche note, perché soggetto a misurazioni periodiche, o perché regolato da manufatti funzionanti secondo relazioni matematiche conosciute: in tal caso, basta imporre che il tirante idrico nella sezione di ingresso nel bacino corrisponda al livello del pelo libero nel bacino stesso.

In altri casi, la soluzione è data dalla conoscenza della "scala delle portate" della sezione di valle, ovvero della relazione univoca che lega le altezze di moto alle portate defluenti.

Qualora non sia nota la legge di variazione del livello di valle, né la scala delle portate della sezione in uscita, si ricorre ad ipotesi scelte in maniera più arbitraria, imponendo a valle condizioni di "moto uniforme" o, più frequentemente, di "moto critico", secondo le definizioni riportate in Appendice.

Se il calcolo rivela poi nel tratto in esame condizioni di moto corrispondenti a quelle di una "corrente veloce", l'imposizione di condizioni di "moto critico" conduce, nella sezione di valle, a sottostimare la velocità ed a sovrastimare il tirante. In questo caso, l'errore può in generale essere corretto, in quanto le condizioni di moto delle correnti "veloci" sono governate da monte, ovvero dal tratto oggetto di studio di dettaglio. Al contrario, se le condizioni di moto ricavate dal calcolo corrispondono ad una "corrente lenta", una siffatta ipotesi di partenza conduce a sottovalutare il tirante ed a sopravvalutare la velocità locale di deflusso. In questo caso, l'errore non può essere corretto se non estendendo ulteriormente verso valle lo studio, giacché le condizioni di moto delle correnti "lente" sono governate da valle. Va peraltro indicato che l'errore tende automaticamente a

correggersi nelle iterazioni successive, risalendo verso monte. Per questo motivo, in sede di redazione dei calcoli, la modellazione geometrica dell'alveo ha origine sempre qualche decina di metri più a valle del tratto di stretto interesse, affinché il calcolo abbia modo di produrre le necessarie correzioni prima che abbiano inizio le iterazioni di calcolo che riguardano direttamente le sezioni di stretto interesse.

Passando dal caso generale al caso specifico, si osserva che, nel caso in esame, i calcoli idraulici finalizzati alla determinazione del livello del pelo libero hanno inizio presso l'imbocco del sottopasso della S.P. 109. Come gran parte degli attraversamenti distribuiti lungo il corso del Bozzente, il sottopasso venne studiato nel dettaglio da parte dei tecnici incaricati dall'Autorità di Bacino (Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona – Elaborato 5.2.2./2/1R/BZ: "Relazione descrittiva e di analisi dell'attività"), ove viene indicato con il codice BZ28P, in comune di Lainate.

I risultati dei calcoli pubblicati con riferimento all'attraversamento in esame possono essere riassunti come segue:

- quota all'intradosso: 182,59 m s.l.m. (182,81 m s.l.m. nel sistema di riferimento assunto nei calcoli descritti nel presente elaborato e nei grafici allegati, coerentemente con le quote riportate nella aerofotogrammetria comunale);
- quota al piano stradale: 183,03 m s.l.m. (183,25 m s.l.m. nel sistema di riferimento assunto nei calcoli);
- livello assunto dalla corrente di piena ricorrente con tempo di ritorno 100 anni: 181,98 m s.l.m. (182,20 m s.l.m. nel sistema di riferimento assunto nei calcoli);
- franco del livello di piena rispetto all'intradosso: 0,61 m;
- distanza fra piano stradale e livello massimo della corrente: 1,05 m;
- rigurgito tra monte e valle del ponte: 0,21 m;
- condizioni di funzionamento idraulico, al passaggio della piena di riferimento: *a pelo libero*.

Alla luce di tutto quanto sopra, è apparso ragionevole assumere, quale livello della corrente nella sezione di valle, il valore di 182,20 m s.l.m. indicato nei documenti citati.

3.3 Caratterizzazione geometrica dell'alveo

La stima dei massimi livelli raggiunti dalla corrente è stata eseguita utilizzando 23 sezioni topografiche dell'alveo, che coprono l'intero tratto in fregio ai terreni di proprietà di Supercolori S.p.A., a partire dallo sbocco del sottopasso autostradale, sino al sottopasso della S.P. n. 109. Il tratto sottende una sezione in cui è stata realizzata un'opera per la deviazione controllata verso un'area depressa, in sponda destra, di parte del volume di piena. Il calcolo è stato condotto trascurando, in favore di sicurezza, il contributo di laminazione – peraltro ridotto – offerto dalla presenza di tale manufatto.

Il calcolo è eseguito ipotizzando che le caratteristiche di pendenza e di scabrezza dell'alveo si mantengano costanti all'interno di ciascuno dei tratti delimitati da due sezioni successive.

Per tutti i casi nei quali le sezioni rilevate coincidevano con punti singolari dell'alveo (strozzature, sottopassi, sbarramenti, etc.) si è provveduto ad integrare i rilievi con sopralluoghi diretti, volti ad accertare le caratteristiche geometriche dell'alveo a monte ed a valle degli ostacoli rilevati. La posizione delle sezioni viene indicata nel dettaglio in tav. 2.

Nell'ordine, procedendo da valle verso monte, il calcolo ha tenuto conto, facendo uso delle procedure di calcolo descritte nella allegata Relazione Idraulica, delle seguenti sezioni particolari:

- sezione n. 1 (sezione di valle, all'imbocco del sottopasso della S.P. 109);
- sezioni nn. 2 e 3 (a monte dell'imbocco di cui sopra);
- sezione n. 4 (ansa con curva verso destra);
- sezione n. 5 (ansa con curva verso sinistra);
- sezioni nn. 6 e 7 (tratto rettilineo, a monte di una leggera sinuosità);
- sezioni nn. 8 e 9 (tratto rettilineo, in corrispondenza di un'opera di difesa in sponda destra, costituita da muro in gabbioni disposto a tergo di una fila di micropali in calcestruzzo);
- sezione n. 10 (a valle del sottopasso di via Mantova, in un tratto con vistosa erosione di sponda, in sinistra idrografica);
- sezione n. 11 (allo sbocco del sottopasso di via Mantova);
- sezione n. 12 (all'imbocco del sottopasso di via Mantova);
- sezione n. 13 (tratto rettilineo a monte del sottopasso di via Mantova);
- sezione n. 14 (a valle del tratto canalizzato, in presenza di importanti episodi erosivi sul fondo e su entrambe le sponde dell'alveo);
- sezione n. 15 (presso lo sbocco del tratto canalizzato);
- sezione n. 16 (all'imbocco di un tratto canalizzato, realizzato con pareti e fondo in calcestruzzo)
- sezione n. 17 (appena a monte dell'imbocco del tratto canalizzato);
- sezioni nn. 18, 19 e 20 (tratto rettilineo a monte dell'imbocco di cui sopra);
- sezione n. 21 (in corrispondenza di un piccolo manufatto per la diversione di parte dei volumi di piena verso un'area depressa in sponda destra);
- sezione n. 22 (tratto rettilineo);
- sezione n. 23 (a valle della ricongiunzione dei due tratti del torrente in uscita dal sottopasso autostradale).

Quanto ai valori dei coefficienti di scabrezza, è stato assunto il valore 0,035, tipico di un piccolo corso d'acqua di pianura, con alveo pulito, diritto e privo di stagni o secche, per i tratti naturali mentre è stato assunto il valore di 0,017 per i tratti in cui le sponde e il fondo sono in calcestruzzo. Nei tratti che presentano caratteristiche intermedie (sponde in calcestruzzo e fondo naturale, oppure sponde e fondo rivestiti con impiego di massi ciclopici) è stato assunto il valore 0,027.

I valori adottati corrispondono alle ipotesi di calcolo già formulate nei calcoli condotti nella redazione della monografia redatta a cura dell'Autorità di bacino.

3.4 Calcolo delle condizioni di moto

I principali risultati dei calcoli eseguiti vengono riportati nella tabella che segue e nel grafico di tavola n. 3.

| sezione | quota di fondo [m s.l.m.] | quota di pelo libero [m s.l.m.] | tirante idrico [cm] | franco in sponda sinistra [m] | franco in sponda destra [m] | velocità di deflusso [m/s] | tipo di corrente |
|---------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|
| sezione n. 1 | 179,47 | 182,20 | 273,00 | 0,35 | 0,62 | 1,78 | LENTA |
| sezione n. 2 | 179,66 | 182,28 | 261,80 | 0,74 | 0,84 | 1,92 | LENTA |
| sezione n. 3 | 179,64 | 182,41 | 277,38 | 0,98 | 0,98 | 1,78 | LENTA |
| sezione n. 4 | 179,86 | 182,49 | 262,62 | 1,22 | 1,08 | 1,80 | LENTA |
| sezione n. 5 | 180,11 | 182,58 | 247,38 | 1,03 | 1,18 | 1,61 | LENTA |
| sezione n. 6 | 180,22 | 182,57 | 234,84 | 1,38 | 1,09 | 2,01 | LENTA |
| sezione n. 7 | 180,23 | 182,75 | 252,21 | 1,36 | 1,08 | 2,01 | LENTA |
| sezione n. 8 | 180,43 | 182,82 | 239,38 | 1,59 | 0,81 | 2,29 | LENTA |
| sezione n. 9 | 180,42 | 182,92 | 250,03 | 1,55 | 0,68 | 2,24 | LENTA |
| sezione n. 10 | 180,80 | 183,13 | 232,93 | 1,05 | 0,58 | 1,69 | LENTA |
| sezione n. 11 | 180,66 | 182,79 | 212,90 | 0,98 | 0,42 | 3,12 | LENTA |
| sezione n. 12 | 180,84 | 183,22 | 238,31 | 1,64 | 1,57 | 1,86 | LENTA |
| sezione n. 13 | 181,07 | 183,26 | 218,92 | 1,73 | 1,68 | 2,23 | LENTA |
| sezione n. 14 | 179,86 | 183,60 | 374,06 | 0,16 | 0,98 | 0,56 | LENTA |
| sezione n. 15 | 180,96 | 182,09 | 113,19 | 2,52 | 2,50 | 6,51 | VELOCE |
| sezione n. 16 | 182,39 | 184,29 | 190,44 | 0,60 | 0,65 | 3,97 | VELOCE |
| sezione n. 17 | 182,39 | 185,04 | 264,66 | -0,05 | -0,63 | 1,61 | LENTA |
| sezione n. 18 | 182,49 | 185,08 | 258,61 | 0,53 | -0,73 | 1,63 | LENTA |
| sezione n. 19 | 182,63 | 185,13 | 250,41 | 0,46 | 0,40 | 1,69 | LENTA |
| sezione n. 20 | 182,74 | 185,17 | 242,78 | 0,09 | -0,25 | 1,76 | LENTA |
| sezione n. 21 | 182,74 | 185,28 | 254,18 | 0,65 | 0,48 | 1,62 | LENTA |
| sezione n. 22 | 183,02 | 185,38 | 236,07 | 0,26 | 0,14 | 1,77 | LENTA |
| sezione n. 23 | 183,04 | 185,46 | 242,36 | 0,30 | 0,56 | 1,90 | LENTA |

Tabella 2: condizioni di moto calcolate lungo l'asta del torrente Bozzente, in fregio alla proprietà Supercolori S.p.A., al passaggio dell'onda di piena caratterizzata da tempo di ritorno di 100 anni

Il calcolo ha evidenziato l'esistenza di due scenari nettamente distinti, rispettivamente a monte ed a valle del tratto canalizzato, con fondo e pareti in calcestruzzo, a monte dell'attraversamento stradale di via Mantova.

A valle dello sbocco di tale canalizzazione, e fino al sottopasso della S.P. n. 109 (sezioni nn. 1 – 13), si rilevano condizioni di moto regolari, con livelli di piena costantemente inferiori alle quote dei rilevati arginali. Le velocità di deflusso si mantengono entro valori relativamente contenuti, compatibili con la natura dell'alveo, con la sola eccezione del tratto appena a valle del sottopasso di via Mantova (sezione n. 11). In questa sezione, la velocità della corrente sale repentinamente a valori superiori ai 3,00 m/s, favorita in ciò da una sezione leggermente ristretta rispetto al tratto di monte e dalla minore scabrezza delle pareti. L'aumento locale della velocità di deflusso sembra essere responsabile delle condizioni di incipiente erosione localizzata, visibili in sponda sinistra ed alla base del muro in cemento armato che regge la spalla destra del ponte.

A monte del tratto prevalentemente rettilineo situato fra le sezioni nn. 1 e 13, l'alveo piega bruscamente verso Sud, a sinistra. La deviazione venne protetta con un manufatto in calcestruzzo armato (fotografia n. 1), con sezione libera larga circa 4,00 m ed alta circa 3,60 m. La presenza di tale manufatto genera un brusco aumento di velocità (sezioni nn. 15 e 16), cui corrisponde un proporzionale incremento di energia cinetica. La successiva dissipazione di tale energia, a valle del manufatto (sezione n. 14) dà evidentemente luogo ad una zona di grandi turbolenze, che si traducono in forti episodi erosivi del fondo e delle sponde (fotografie nn. 2 e 3).

In corrispondenza della sezione di imbocco del manufatto (sezione n. 17), al contrario, la corrente rallenta sino a valori di poco superiori a 1,50 m/s, il che le consente di recuperare l'energia

necessaria a vincere le resistenze offerte dalla sezione di ingresso nel canale, sensibilmente inferiore a quella disponibile per la corrente nel tratto di monte. Tale rallentamento comporta un innalzamento del pelo libero, che per tutto il tratto di monte, fino quasi allo sbocco del sottopasso autostradale (sezioni nn. 17 – 23) si mantiene prossimo alla sommità del rilevato arginale.

Il profilo del pelo libero, come risultante dalle elaborazioni di calcolo condotte, viene descritto nel dettaglio nel grafico di tavola n. 4, ove appaiono con maggiore evidenza gli episodi di escavazione localizzata del fondo (sezione n. 14), assieme ai tratti nei quali la corrente, accelerando, tende ad appiattare sul fondo il proprio pelo libero (sezioni nn. 11, 15, 16) ed a quelli nei quali, al contrario, tende ad innalzarsi (sezioni nn. 12, 17, 18, 19).

A titolo di maggiore cautela, i calcoli sono stati condotti con riferimento ad un secondo scenario, ipotizzando condizioni di incipiente moto in pressione in corrispondenza del sottopasso della S.P. 109 (a valle della sezione n. 1), ottenendo sempre i medesimi risultati (ovvero, condizioni di “corrente veloce” fra le sezioni nn. 14 e 16, e lieve insufficienza dell’argine sinistro in corrispondenza della sezione n. 17).

Per brevità, lo sviluppo di dettaglio dei calcoli relativi a tale secondo scenario viene omissis.



Foto n. 1: canalizzazione artificiale (sezioni nn. 15 – 16)



Foto n. 2: erosione della sponda sinistra, a valle della sezione n. 15, allo sbocco della canalizzazione



Foto n. 3: erosione della sponda destra, allo sbocco della canalizzazione artificiale

4 Definizione delle condizioni di rischio, con riferimento al tratto di proprietà

Il presente studio idraulico nacque dall'esigenza di valutare le condizioni di rischio idraulico sussistenti in alcuni terreni di proprietà della ditta Supercolori S.p.A., ubicati in comune di Origgio, in fregio al corso del torrente Bozzente, in prossimità del limite meridionale del territorio comunale, con lo scopo di fornire supporto tecnico alla formulazione di una proposta di revisione della classe di fattibilità geologica a suo tempo indicata per quei terreni dai tecnici incaricati da parte dell'Amministrazione Comunale, durante il percorso, tuttora in itinere, finalizzato alla redazione dei nuovi strumenti di pianificazione urbanistica del territorio.

L'area, in sinistra orografica, risulta compresa fra le sezioni nn. 8 (a valle) e 21 (a monte). Essa, nella "Carta della fattibilità geologica" pubblicata sul sito web del Comune di Origgio, risulta ad oggi contrassegnata da campitura corrispondente alla classe di fattibilità geologica 4C (fascia fluviale di esondazione).

Con riferimento ai risultati delle elaborazioni condotte e descritte nel paragrafo precedente, gli effettivi possibili fattori di rischio qui accertati possono essere ricondotti a due distinte cause: la vulnerabilità idraulica, legata a possibili esondazioni dell'onda di piena dalla sponda sinistra, lungo il confine settentrionale delle aree di proprietà, e la vulnerabilità geotecnica, legata a possibili fenomeni di instabilità delle sponde, localmente indotti da un eccesso di erosione. L'individuazione dei fattori di rischio non è comunque sufficiente ai fini della definizione completa dell'assetto idraulico locale, in assenza di una definizione puntuale degli effettivi livelli di rischio sussistenti.

La causa ultima di entrambi i fattori di rischio individuati è da ricercarsi nella presenza della canalizzazione artificiale che segna l'ansa dell'alveo presso il limite occidentale dell'area di proprietà. Dal lato di monte, infatti, tale canalizzazione induce un rigurgito della corrente, che a seguito di questo si innalza sino a sfiorare le quote dei rilevati arginali. Dal lato di valle, essa dà invece luogo a condizioni di velocità e di turbolenza tali da innescare fenomeni erosivi in alveo e sulle sponde.

Quanto al primo fenomeno, si evidenzia che esso assume entità praticamente trascurabile, sia perché interessa prevalentemente la sponda destra, più bassa, raggiungendo la sommità dell'argine sinistro soltanto in condizioni eccezionali (si veda, in proposito, la rappresentazione delle sezioni nn. 17 e 18, in tavola n. 3), sia perché risulta circoscritto alle zone più vicine all'imbocco della canalizzazione (sezione n. 17). Anche in tali condizioni eccezionali, i tiranti idrici attesi fuori dall'alveo possono al massimo raggiungere una altezza di pochi centimetri, con velocità di deflusso prossime allo zero. I fenomeni di esondazione paventati possono essere agevolmente contrastati con semplici operazioni di regolarizzazione ed adeguamento dell'alveo arginale già esistente (che peraltro si rivela già oggi quasi ovunque sufficientemente adeguato). L'area potenzialmente raggiunta dai volumi idrici che – nelle condizioni eccezionali sopra indicate – possono abbandonare l'alveo come sopra indicato, in corrispondenza della sezione n. 17, vengono indicate nel grafico di tavola n. 5. Va tuttavia sottolineato che il grafico è stato tracciato secondo ipotesi estremamente cautelative, in quanto non tiene in alcun conto la capacità di infiltrazione nel terreno (capacità che, pur in assenza di dati specifici relativi al sito, sulla base delle successioni lito-stratigrafiche proprie dell'area assume qui valori piuttosto rilevanti).

Per quanto invece attiene al secondo fenomeno, esso si è ad oggi manifestato con arretramenti delle linee di sponda, accompagnati da un progressivo approfondimento del fondale. Ad oggi, l'erosione consumatasi ha già dato luogo alla formazione di un bacino di calma di proporzioni apprezzabili, probabilmente già oggi in grado di dissipare l'energia della corrente in uscita dalla canalizzazione, senza dare luogo a future ulteriori consistenti asportazioni di terreno dal fondo e dalle sponde dell'alveo (sebbene, in proporzioni controllate, queste non possano ancora essere del tutto escluse). Si può stimare che la striscia interessata dalla successiva potenziale evoluzione del fenomeno potrà avere una larghezza massima non superiore a 5,00 m, a partire dal ciglio attuale di sponda, con uno

sviluppo che può giungere alla lunghezza massima di circa 20,00 m, misurati a partire dalla sezione di sbocco della citata canalizzazione. Anche in questo caso, l'area potenzialmente interessata dal fenomeno viene perimetrata nel grafico di tavola n. 5.

Riassumendo le valutazioni precedenti in termini di pericolosità idraulica, ed applicando al caso in esame le definizioni di cui alla D.G.R. 30.11.2011 n. 9/2616 ed ai relativi allegati, si possono assegnare alla striscia di sponda così individuata condizioni di pericolosità alta (H4: “*area con alta probabilità di essere interessata da fenomeni di erosioni di sponda e di trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione di ingenti quantità di materiale solido, con danneggiamento di opere e manufatti*”). Sempre adottando la medesima terminologia utilizzata nella norma regionale di riferimento, ad area di tali caratteristiche è possibile attribuire la classe di rischio R2 (*possibili danni minori agli edifici ed alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e lo svolgimento delle attività socio – economiche*) qualora le destinazioni d'uso siano assimilabili ad una categoria di uso del suolo di classe E1 (*zona boschiva; zona agricola non edificabile; demanio pubblico non edificato o edificabile*) o E2 (*zona agricola generica, con possibilità di edificazione; infrastrutture pubbliche quali strade comunali o consortili non strategiche; zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato; parchi, verde pubblico non edificato*). L'individuazione delle possibili categorie di uso del suolo tiene conto del fatto – rilevante, anche ai fini della individuazione della classe di fattibilità – che l'area potenzialmente interessata dal fenomeno è tutta interna alla fascia di rispetto definita dall'art. 96, lettera f), del R.D. 25.07.1904, n. 523, “Testo unico sulle opere idrauliche”, ove la norma prescrive l'assenza di qualsivoglia fabbricato.

All'esterno di questa striscia, all'area che può essere raggiunta dall'acqua tracimata dall'argine a monte della canalizzazione può invece essere attribuito un livello di pericolosità media (H2) o moderata (H1). L'affermazione discende dall'esame del grafico riportato al § 3.4 dell'allegato IV alla norma regionale di riferimento, tenuto conto dell'esiguità del volume idrico di esondazione stimato (il che contiene entro valori di pochi centimetri i tiranti idrici attesi) e del fatto che questo volume rimane confinato a tergo degli argini esistenti (cosa che riduce la velocità di deflusso a valori irrisori). In queste condizioni, l'applicazione delle matrici di calcolo del rischio riportate nella norma regionale comporta per la porzione di area in esame l'attribuzione della classe di rischio R1 (*possibili danni sociali ed economici marginali*) per usi del suolo di classe E1 ed E2, e della classe di rischio R2 in tutti gli altri casi.

Si ribadisce, in proposito, che in quest'ultimo caso tale attribuzione – a maggiore cautela – tiene conto di una estensione dell'area allagata certamente sovradimensionata, in quanto tracciata non tenendo conto né della via preferenziale assunta dall'esondazione in sezione n. 17 (la sponda destra, opposta ai terreni di proprietà), né delle proprietà di infiltrazione dei terreni attraversati, né della lentezza del deflusso: una delimitazione che avesse tenuto debito in conto tali aspetti avrebbe probabilmente limitato l'estensione della perimetrazione di area a pericolosità idraulica, ancorché moderata, al solo piede dell'argine, presso la sezione n. 17.

Lo scenario prodotto dal calcolo viene sintetizzato nella seguente figura n 1, ove vengono riportati:

- i limiti derivanti dall'applicazione delle fasce di rispetto di cui all'art. 96, lettera f), del R.D. 25.07.1904, n. 523;
- i limiti assunti, secondo ipotesi estremamente cautelative, per il tracciamento delle aree potenzialmente interessate da lievi allagamenti;
- i limiti cautelativamente assunti per il tracciamento delle aree potenzialmente interessate dall'evoluzione dei fenomeni erosivi in atto.

La figura mostra chiaramente come, a seguito dello studio di dettaglio condotto, gli allagamenti paventati, ancorché di entità irrisoria e potenzialmente caratterizzati da tiranti limitati a pochi centimetri, si rivelino avere carattere circoscritto e non indefinito, e come l'origine degli

allagamenti sia da attribuire ad una situazione ancora più circoscritta e facilmente rimediabile.

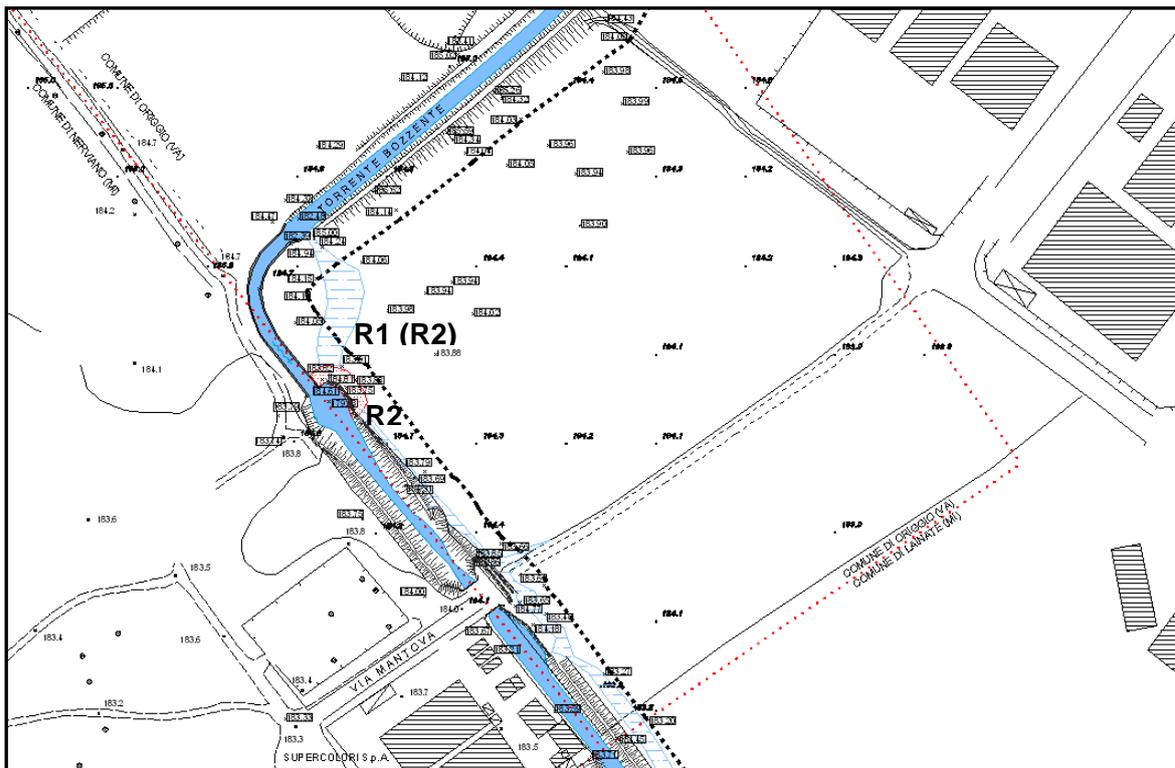


Figura n. 1: sintesi dello scenario prodotto dal calcolo: in linea nera, a trattini, il limite esterno della fascia di rispetto fissata dall'art. 96 del R.D. 25.07.1904, n. 523, "Testo unico sulle opere idrauliche" (10 m dal piede esterno dell'argine); con campitura azzurra, l'area massima interessata dagli allagamenti provocati dall'insufficienza dell'argine a monte della canalizzazione in calcestruzzo armato (classe di rischio R1, per usi del suolo di classi E1 ed E2, e classe dei rischio R2 per tutti gli altri possibili usi); con campitura rossa, l'estensione massima dell'area interessata da possibili ulteriori arretramenti della linea di sponda (classe di rischio R2, per qualsiasi uso del suolo ammesso dalla normativa)

5 Conclusioni dello studio

Le indagini condotte hanno consentito di accertare (§3) le condizioni di moto assunte dalla corrente nel tratto in esame, e di definire – secondo criteri largamente cautelativi – una perimetrazione di dettaglio delle aree che possono in qualche modo essere caratterizzate da condizioni di rischio idraulico, lungo l'asta torrentizia (§4).

Nel dettaglio, sono state riconosciute un'area di leggero ristagno ed infiltrazione delle acque potenzialmente tracimate dall'argine sinistro, alla sezione n. 17, ed un'area potenzialmente interessata dalla futura evoluzione di un fenomeno erosivo, presso la sezione n. 14.

Con riferimento alle definizioni contenute nella normativa regionale di riferimento, all'area interessata da possibili limitati fenomeni di ristagno sono state attribuite condizioni di rischio R1 (possibili danni sociali ed economici marginali) o R2 (possibili danni minori agli edifici ed alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e lo

svolgimento delle attività socio – economiche), in relazione alle possibili differenti attività antropiche che potranno insediarsi.

All'area interessata da potenziale evoluzione dei fenomeni erosivi sono invece state attribuite condizioni di rischio R2 (*possibili danni minori agli edifici ed alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e lo svolgimento delle attività socio – economiche*). In questo caso, la definizione tiene conto delle destinazioni d'uso che, tenuto conto delle restrizioni imposte dall'osservanza dell'art. 96 del R.D. 25.07.1904, n. 523, possono ragionevolmente trovare qui applicazione.

La perimetrazione tracciata interessa una estensione estremamente limitata dell'area di proprietà, all'esterno della quale non è stata individuata la presenza di alcun altro fattore di rischio idraulico. L'indagine ha inoltre dato modo di accertare che la vicinanza dell'asta torrentizia ai terreni in esame dà luogo a dinamiche legate non a possibili esondazioni fluviali, come ipotizzato nella stesura originaria della Carta della Fattibilità Geologica, ma ad episodi di ristagno ed a fenomeni di erosione localizzata, caratterizzati da rilevanza areale decisamente inferiore.

I risultati ottenuti, resi possibili dalla scala di estremo dettaglio adottata nello studio condotto, giustificano ampiamente, a parere di chi scrive, l'assegnazione alle aree in esame di una classe di fattibilità geologica 3 secondo la tabella 1 dei "Criteri ... " vigenti, fatte salve le fasce di rispetto e salvaguardia vincolate e normate a livello regionale e nazionale.

Gornate Olona, febbraio 2012



i professionisti incaricati
dott. ing. Giorgio Amolari

Dott. Geol. Aldo Sbrana



APPENDICE: MODALITÀ DI REDAZIONE DEI CALCOLI IDRAULICI

1 Principi teorici per la trattazione delle correnti a pelo libero

Le altezze di corrente vengono stimate sulla base delle teorie che illustrano i principi del moto a pelo libero della corrente, secondo le quali le principali grandezze che caratterizzano le condizioni di moto (altezza e velocità di corrente) possono essere desunte da considerazioni relative all'energia complessiva posseduta dalla corrente in transito nell'alveo, composta dalla somma dei termini di energia potenziale (correlata alla quota assoluta del fondo alveo), energia di pressione (legata all'altezza del pelo libero sul fondo) ed energia cinetica (legata alla velocità di transito della corrente nella sezione).

Per una migliore comprensione dei termini successivamente utilizzati, si illustrano brevemente i principi basilari della teoria, senza ovviamente pretendere di esaurire la materia né di addentrarsi nella discussione puntuale delle formulazioni matematiche che la compendiano.

Fissati un valore di portata, un valore dell'energia totale della corrente (indicata con H) ed una sezione (e fissata, di conseguenza, una quota assoluta del fondo), il termine legato all'energia cinetica della corrente deve decrescere al crescere dell'altezza del pelo libero (poiché all'aumentare dell'altezza cresce la sezione attraverso cui passa la corrente, e ciò comporta una diminuzione della velocità di transito). Viceversa, il termine legato alla pressione cresce, come è ovvio, con l'aumentare del livello del pelo libero.

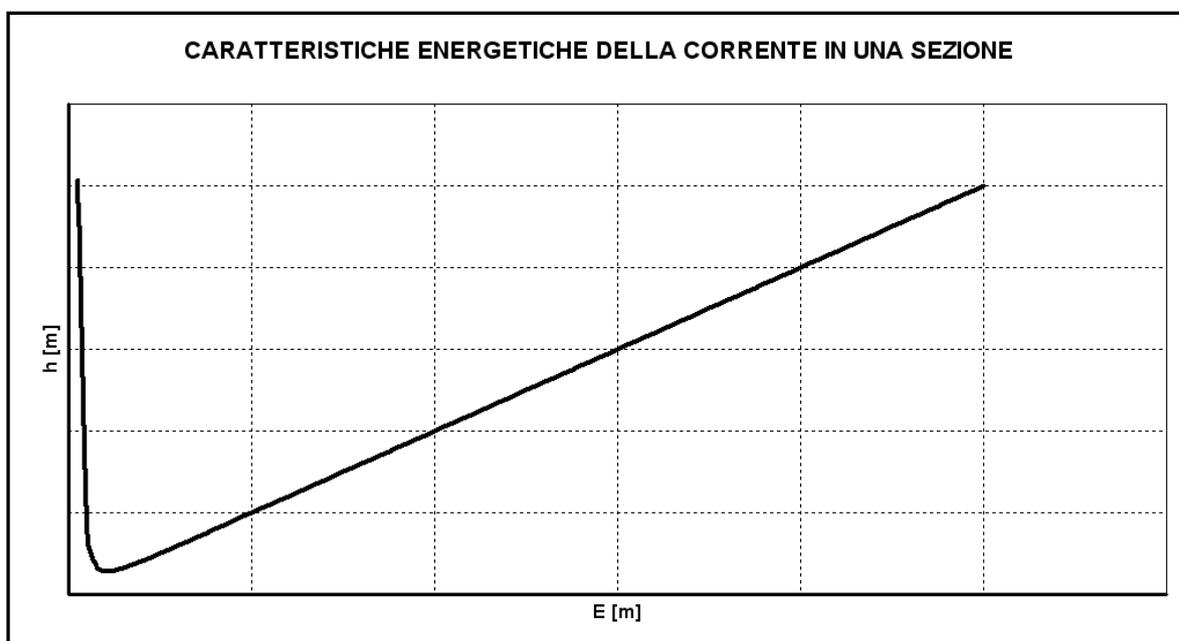


Figura 1: grafico per l'illustrazione del rapporto fra energia specifica ed altezza di corrente, a portata costante

La somma dei due termini, che esprime il legame tra altezza e velocità, assume pertanto valori estremamente grandi sia per altezze molto basse, prossime allo zero, sia per altezze molto alte. La forma della relazione esistente tra questa somma (di norma indicata con il simbolo E - energia specifica rispetto al fondo dell'alveo) ed h (altezza di corrente) deve essere del tipo di quella indicata nella figura precedente (Fig. 1), con due rami ascendenti ed un punto di minimo. Al punto di minimo corrisponde quello che in idraulica è definito come "stato critico", che può essere definito come la situazione di minima energia totale necessaria ad una corrente per transitare attraverso una certa sezione. Se l'energia totale a disposizione della corrente è inferiore al valore E, è necessario che a monte della sezione la corrente recuperi energia, tramite un meccanismo denominato "risalto", fino a raggiungere il valore minimo richiesto per il passaggio in condizioni "critiche". In tale stato, tanto la velocità quanto l'altezza di corrente assumono la denominazione di "critica".

I due rami ascendenti verso sinistra e verso destra della curva rappresentata in Figura 1 rappresentano rispettivamente le correnti "veloci" (quelle nelle quali l'altezza del pelo libero è inferiore all'altezza critica, e nelle quali di conseguenza l'energia cinetica prevale rispetto a quella legata alla pressione) e le correnti "lente" (nelle quali, al contrario, il termine cinetico è secondario).

La differenza fondamentale fra i due tipi di corrente sta nelle modalità con cui esse reagiscono di fronte ad ostacoli che perturbino il deflusso regolare verso valle della corrente stessa. In caso di corrente "veloce", la velocità di corrente è maggiore della velocità di propagazione verso monte delle onde prodotte dall'ostacolo, per cui gli effetti della perturbazione possono essere avvertiti soltanto a valle dell'ostacolo. Viceversa, in caso di correnti "lente", la velocità è minore della velocità di propagazione verso monte delle onde, e l'effetto della presenza di un ostacolo può essere avvertito sia verso monte che verso valle. In altre parole, una corrente "veloce" è condizionata soltanto da ciò che avviene nelle sezioni di monte; una corrente "lenta" è condizionata anche da ciò che accade a valle. Questa importante differenza verrà ripresa in seguito, per illustrare le modalità di calcolo seguite nello studio.

2 Calcolo delle condizioni di moto per alvei cilindrici

Chiarite le condizioni energetiche di una corrente in una sezione, il calcolo delle condizioni di moto in una sezione successiva viene operato con applicazione del principio di conservazione dell'energia, considerando l'energia potenziale ceduta dalla corrente nel moto verso il basso (e trasformata in energia cinetica o di pressione) e l'energia persa per attrito contro le pareti dell'alveo.

L'espressione matematica dell'energia totale della corrente è la seguente:

$$H = z + h + \alpha \cdot \frac{V^2}{2g}$$

nella quale tutti gli addendi hanno le dimensioni di una lunghezza, ed α indica il cosiddetto "coefficiente di ragguglio dell'energia cinetica", introdotto per tenere conto delle differenze esistenti fra la velocità massima della corrente, in centro all'alveo, e la velocità media della stessa..

Il principio di conservazione dell'energia fra due sezioni successive poste a distanza reciproca ΔL si esprime tramite la seguente relazione:

$$H_1 = H_2 + J_{\text{med}} \Delta L$$

ove si è introdotta la nuova grandezza J , denominata cadente piezometrica, che indica la perdita di energia per unità di lunghezza dell'alveo, dovuta all'attrito contro pareti dell'alveo stesso. La cadente piezometrica in ciascuna sezione viene espressa utilizzando la formula di Manning, definendo preventivamente la "capacità di portata dell'alveo", K , come

$$K = A \cdot \frac{R^{2/3}}{n}$$

ove A è l'area della sezione di passaggio della corrente, R il raggio idraulico della sezione (rapporto fra area e contorno bagnato) ed n un coefficiente di scabrezza, ed esprimendo successivamente la cadente come

$$J = \frac{Q^2}{K^2}$$

Tramite K , la cadente è quindi una funzione univoca dell'altezza h . La cadente media nel tratto compreso fra due sezioni successive è banalmente stimata come valore medio fra esse.

Tenuto presente tutto ciò, note che siano le condizioni di moto nella sezione 1, la precedente relazione che esprime il principio di conservazione dell'energia può scriversi come

$$z_1 + h_1 + \alpha \cdot \frac{V_1^2}{2g} \cdot \frac{Q^2}{K(h_1)^2} \cdot \frac{\Delta L}{2} - z_2 = h_2 + \alpha \cdot \frac{V_2^2}{2g} \cdot \frac{Q^2}{K(h_2)^2} \cdot \frac{\Delta L}{2}$$

Tutti i termini a sinistra dell'uguale sono noti, mentre tutti i termini a destra, incogniti, possono essere espressi in funzione dell'altezza di corrente nella sezione 2.

Applicando in modo iterativo questo metodo di calcolo, è sufficiente assegnare le condizioni di moto in una sezione, per poter calcolare per passi successivi le condizioni di moto della medesima portata in tutte le rimanenti sezioni.

Notiamo, inoltre, che il processo di calcolo può avvenire indifferentemente procedendo da monte verso valle (a partire dalla conoscenza delle condizioni di moto nella sezione 1) o, viceversa, da valle verso monte, supponendo note le condizioni nella sezione 2. Ricordando quanto detto a proposito delle diverse reazioni alle perturbazioni proprie ai due tipi di corrente, osserviamo che un calcolo rigoroso comporterebbe un procedimento da monte verso valle per il caso di correnti "veloci", e da valle verso monte per il caso di correnti "lente". Nella pratica, i calcoli vengono di norma eseguiti da valle verso monte, ipotizzando sempre condizioni di moto proprie delle correnti "lente". Oltre ad essere un processo appropriato nella maggior parte dei casi (poiché di norma nei tratti pianeggianti, più facilmente interessati da esondazioni, le correnti di piena transitano con velocità inferiore alla velocità "critica"), ai fini del calcolo delle aree esondabili ciò corrisponde all'introduzione di un fattore di sicurezza, in quanto si è già illustrato come, a parità di portata, una corrente "lenta" abbia un'altezza di moto superiore ad una corrente "veloce". Qualora il calcolo produca, in una sezione di monte, condizioni di moto caratteristiche di una corrente "veloce", il livello viene automaticamente innalzato sino al valore "critico", introducendo un errore trascurabile ed in favore di sicurezza.

In caso di necessità, l'ipotesi può comunque agevolmente venire rimossa, senza che con ciò vengano meno criteri di calcolo improntati a cautela: ove si riconosca l'esistenza di tratti in cui la corrente transiti con certezza in condizioni di velocità superiore a quella critica (corrente "veloce"), si risale a monte sino a trovare una sezione nella quale l'imposizione del principio di conservazione

dell'energia possa consentire l'instaurarsi di condizioni di moto proprie della corrente "lenta". Nella sezione di calcolo immediatamente a valle di questa vengono quindi imposte condizioni di moto "critico" (corrispondenti alla transizione da una situazione di corrente "lenta", a monte, ad una situazione di corrente "veloce", a valle). Ciò fatto, si ripercorre l'alveo a ritroso, verso valle, applicando nuovamente di tronco in tronco le equazioni che esprimono il principio di conservazione dell'energia (e ciò, coerentemente con l'assunto secondo il quale le correnti "veloci" vengono condizionate da ciò che accade a monte, e non da ciò che accade a valle).

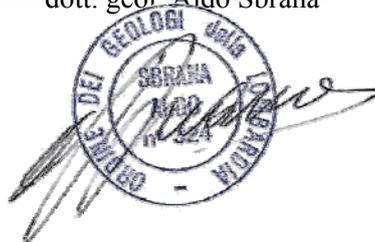
Gornate Olona, febbraio 2012



professionisti incaricati

dott. ing. Giorgio Amolari

dott. geol. Aldo Sbrana



Bibliografia

Citrini, D.; Nosedà, G.: “Idraulica”, Milano, Casa Editrice Ambrosiana, 1982

Moisello, U. et al.: “Rischio idraulico e rischio dighe”, *Piano Provinciale di Previsione e Prevenzione di Protezione Civile della Provincia di Varese*, Pavia, Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale dell’Università di Pavia, 1998

Visentini, G. (responsabile del progetto) ed altri: Elaborato 5.2.2./2/1R/BZ – “Relazione descrittiva e di analisi dell’attività” in “*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d’acqua naturali e artificiali all’interno dell’ambito idrografico di pianura Lambro-Olona*”, Roma, Studio Lotti & Associati, 2003